

深水中承台钢管桩围堰施工技术

陈慧

中铁五局集团第二工程有限责任公司

摘要：文中结合G5京昆高速公路广元至绵阳段扩容工程中嘉陵江特大桥的实例，基于该工程的水文、地质条件，对施工的重难点做了阐述，对水中承台钢管桩围堰做了施工技术总结。

关键词：嘉陵江特大桥；深水承台；钢管桩围堰

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.21.021

一、引言

随着我国高速公路工程建设的高速发展，桥梁工程占总体工程中的比例越来越高，遇到的跨江河等水下基础工程也逐渐增多，但在深水复杂地形的基础施工还缺乏较有效的经验。本文依托广绵高速嘉陵江特大桥工程，总结了深水中承台钢管桩围堰施工的技术，为今后水中桥梁施工提供案例支撑，确保桥梁施工、运营中质量及安全。

二、工程概况

(一) 工程概况

嘉陵江特大桥主桥为95+180+95m连续刚构，其中主墩2#墩和3#墩为水中墩，承台顶标高为441m，主墩承台厚度为5m，2#主墩承台围堰封底混凝土1.0m厚，3#主墩承台围堰封底混凝土3.0m厚，单个主墩平面尺寸为1650×1650cm。单个主墩承台的桩基为9根 ϕ 250cm的钻孔灌注桩，桩基中心纵、横向间距625cm。

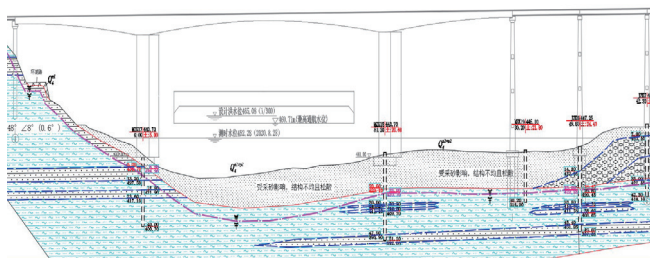


图1：嘉陵江特大桥立面图

(二) 地质水文情况

1. 地质情况

2#墩所处地质情况：0~5m为灰黄色粉砂，5~13.2m为青灰色砂岩、岩质较硬，13.2~18.8m、23.6~40.0m为红棕色粉砂质泥岩、岩质较软，18.8~23.6m为青灰色砂岩、岩质较硬。

3#墩所处地质情况：0~20.6m为回填卵石，20.6~30.0m、30.9~32.6m、34.0~47.8m为红棕色粉砂质泥岩、岩质较软，30.0~30.9m、32.6~34.0m为青灰色砂岩、岩质较硬，47.8~51.2m为青灰色砂岩、岩质较硬。

2. 水文情况

根据项目前期水文调查，并与亭子口水电站取得联系，得出每年的最高水位在9-10月份，最高水位为458m，每年最低水位在3-5月份，最低水位为442m，最

大流速约为1m/s。

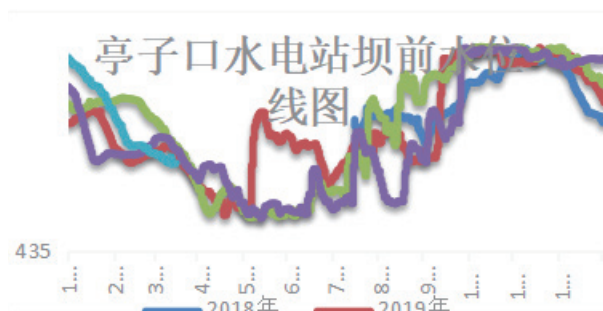


图2：亭子口水电站坝前水位线图

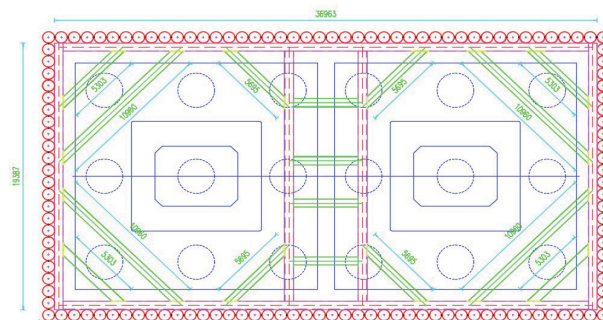


图3：围堰内支撑平面布置图

三、施工重难点分析

(一) 基岩处于陡坡面，引孔难度大

洪水季节水流湍急，蓄水期水位高，2号墩处于陡坡位置，引孔难度大，而且侧面受压，稳定性控制难，钢管桩围堰止水要求高，控制难度大。

(二) 围堰引孔数量多，工期紧张

合理规划施工工序，边桩基栈桥施工，边进行围堰引孔。

(三) 单根锁扣钢管长，插打时垂直度控制要求高

采用两角点先插打两根导向桩，打入时，在两个方向布置全站仪，进行全程检测锁扣桩的垂直度，保证垂直度控制在0.5%以内。焊接导向架控制平面位置，并在导向加上标记好每根钢管桩所在位置，防止偏移。

(四) 止水性要求质量高

钢管桩施工前需对钢管桩锁口开展渗漏试验，即，制作同等锁口样品，确定最佳松紧程度，防止锁口过松或过紧而导致发生渗漏；施打前在钢管桩锁口内抹黄油混合物油膏（重量配合比为沥青：黄油：滑石粉：锯末=4：6：10：1）；施打时需在保持垂直度基础上，避免强行施打，否则易损坏锁口。

四、深水中承台钢管桩围堰施工技术

(一) 总体施工方法

由于2#、3#主墩承台开挖面积大，需要刚度大、止

水性好、经济性高的支护方式，经过比选，采用锁扣钢管桩最为合适。根据地质钻探情况，2#主墩处覆盖层少，岩层坚硬，钢管桩施工前先提前采用XR360D旋挖钻引孔，再将其回填黏土，再施工锁扣钢管桩，以及承台支护开挖。3号主墩覆盖层约20m，通过桩基钻孔结果反馈，卵石含量多，为不损坏锁扣，也需进行引孔施工。承台基坑施工使用 $\phi 820 \times 14\text{mm}$ 螺旋锁扣钢管桩，采用C-9型锁扣，2#承台围堰钢管桩长度为34m，3#承台围堰钢管桩长度为36m。围堰的顶面标高根据亭子口提高水文资料确定为+458.5m，围堰底高程因2#、3#围堰所处地质不同而不同，2#围堰底标高确定为+424.5，3#围堰底标高确定为+422.5。

(二) 钢管桩围堰施工技术

1. 围堰五层内支撑布置

基于围堰结构并结合现场水文地质资料，将围堰内支撑设计为五层，钢管桩及内支撑钢材均采用Q235B型号，其五层内支撑标高分别设置为+455.7m、451.2m、446.7m、443.2m和439.7m位置，具体布置如下：

第一层：围檩采用2HN600*200型钢，对撑采用2HN600*200型钢，角撑采用 $\phi 610 \times 10$ 钢管；钢管桩围圈与支撑应密贴并且焊接，在第一道围檩下方位置焊接支撑牛腿，牛腿材料双拼[20b槽钢。

第二层：圈梁采用2HN700*300型钢，对撑采用2HN700*300型钢，角撑采用 $\phi 711 \times 11$ 钢管；钢管桩围圈与支撑应密贴并且焊接，在第二道围檩下方位置焊接支撑牛腿，牛腿材料双拼[20b槽钢。

第三层：圈梁采用3HN700*300型钢，对撑采用3HN700*300型钢，角撑采用 $\phi 820 \times 14$ 钢管；钢管桩围圈与支撑应密贴并且焊接，在第三道围檩下方位置焊接支撑牛腿，牛腿材料双拼[20b槽钢。

第四层：圈梁采用2HN900*300型钢，对撑采用2HN900*300型钢，角撑采用 $\phi 820 \times 14$ 钢管；钢管桩围圈与支撑应密贴并且焊接，在第四道围檩下方位置焊接支

撑牛腿，牛腿材料双拼[20b槽钢。

第五层：圈梁采用2HN900*300型钢，对撑采用2HN900*300型钢，角撑采用 $\phi 820 \times 14$ 钢管；钢管桩围圈与支撑应密贴并且焊接，在第五道围檩下方位置焊接支撑牛腿，牛腿材料双拼[20b槽钢。

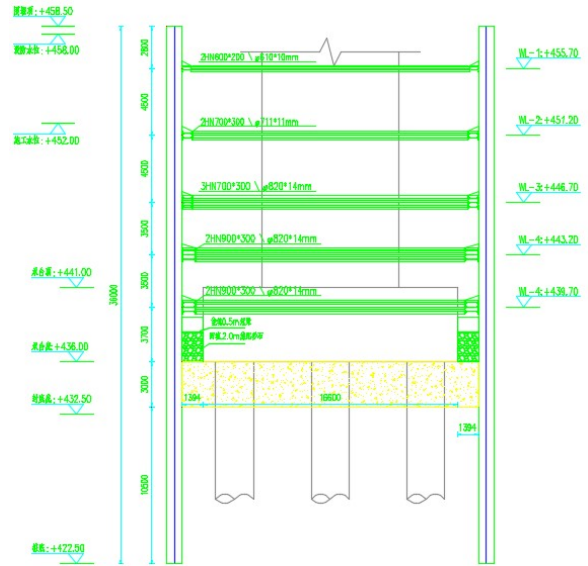


图5：3#承台围堰内支撑立面布置图

2. 钢管桩围堰引孔施工

在锁扣钢管桩插打前，通过已经施工完毕的支栈桥，借助100t履带吊起重设备下进行导向架安装和钢护筒下放，再采用XR360D旋挖钻配合1.5m直径的钻头进行锁扣钢管桩的孔位引孔。

(1) 在支栈桥上使用履带吊及振动锤插打第一个孔的钢护筒，插打完成后，使用旋挖钻机开始第一个孔冲孔施工。

(2) 在第一个孔完成冲孔施工后，孔内开始回填砂，回填完成后，在第一个护筒内插打一根1.2m直径的支护钢管，将钢护筒拔除。

(3) 在距离第一个孔中心1.4m位置插打钢护筒，插打完成后，开始第二个孔冲孔施工，第二孔位施工完成后，回填砂在孔内，然后将第一个孔位的支护钢管拔除插打至第二个孔位处，拔除钢护筒。依次完成后续冲孔施工。

每个孔位在引孔过程中，时刻关注垂直度，边引孔边修正，确保成孔垂直度在1%以内，以便后期锁扣钢管桩施工。每个孔位引孔到距离设计标高10-20cm后，停止引孔，立即灌入黏土，护筒内插打一根1.2m直径的支护钢管，将钢护筒拔出，在距离第一个孔中心1.4m位置插打钢护筒，插打完成后，开始第二个孔冲孔施工，第二孔位施工完成后，回填黄土在孔内，然后将第一个孔位的支护钢管拔除插打至第二个孔位处，拔除钢护筒。根据现场实际工作平面，逐个引孔，依次完成后续冲孔施工。

3. 钢管桩的插打施工

利用100t履带吊作为起吊设备，APE液压振动锤

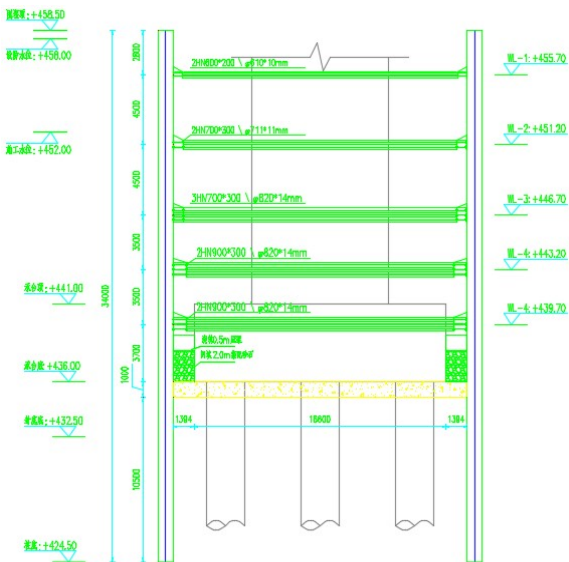


图4：2#承台围堰内支撑立面布置图

(200-6) 施打锁扣钢管桩，具体施工工序为：

待锁扣钢管桩全部引孔完毕后，将旋钻钻撤离支栈桥，进行锁扣钢管桩插打施工。APE液压振动锤将基坑靠上游侧的两角插打锁扣钢管桩，插打到位后，进行导向架牛角和导向架焊接，导向架上设置限位装置，导向架大小设置为钢管桩轮廓向外扩展1厘米。在进行插打施工时，导向架与钢管桩桩背紧靠，插打时，吊钩同时缓慢向下放，保证钢管桩保持在规定垂直度范围。插打过程中应及时纠偏，确保钢管桩垂直度。其打入速度需保持较慢速度，打入深度达到设计值一半时，需暂停沉桩施工，用于检查钢管桩垂直度是否符合规范要求。

在插打过程中，提前预算出每根钢管桩的位置，随时检查纠正；每完成3根测量校正一次，确保钢管桩保持在同一直线上且平面位置准确，导向架与每根完成试打并垂直度合格的钢管桩焊接牢固，通过全站仪对整个施工过程中钢管桩垂直度测量，控制垂直度在0.5%以内，出现偏差时及时调整。可基于起吊能力将每根钢管桩插打至设计标高。通过计算，以确定钢管桩合龙口精确位置，一般合龙口的位置选择在距离角桩4~5根的钢管桩位置合拢。

在整个插打作业中，须遵守“插桩正直，分散即纠，调整合拢”的施工要点。在钢管桩插打过程中，其下端由于向上挤压作用，桩上锁扣之间有较大的缝隙，钢管桩上端发生倾斜通常是远离首根的方向。

4. 围堰开挖支护施工

(1) 2#主墩围堰开挖支护

按照工期排布及往年的水位变化情况，水位在+439左右，可以直接对斜面砂岩采用破碎头进行分层分区凿除开挖清理，将其标高清理至+442.6，并进行牛腿以及第四道围堰焊接，再依次继续第一、二、三道围堰焊接。

6月25号安装完第一~四道围堰，水位在+440左右，先将围堰降水+438，并将围堰清理开挖至+439.2，再进行第五道围堰施工，完成后继续围堰清底开挖至封底混凝土底标高+435，进行混凝土封底。

(2) 3#主墩围堰开挖支护

6月13号锁扣钢管桩合拢，水位在+443左右，直接将围堰第一~三道围堰安装，在6月28号安装完第三道围堰，此时水位在+444左右，将围堰内水位降低至+442.5，再进行第四道围堰安装。

第四道完成后，继续将围堰内水位将至+438.7，进行第五道围堰安装。完成后，立即将围堰内回水至施工外水位，使整个围堰内外水位处于同一平面，降低水压对围堰的影响。采用高压吸石机和抓斗进行开挖清理，接近封底标高时，应加大测量频率，防止超挖清理，最后安排潜水员下水检查清理状况，防止清理不平整而影响封底混凝土厚度。

清理至封底底标高后，进行水下C30混凝土浇筑。待封底混凝土强度提升至设计值90%，将围堰内水抽出，进行下一步承台施工。

6. 锁扣引孔及承台开挖渣土外运

本着不污染嘉陵江河流为原则，将引孔以及开挖出来的渣土，进行集中堆放并运出现场。

2#墩由于在钢栈桥上进行引孔，钻渣不便立即清理运出，先将钻渣堆放至江陵江水域旁边，待引孔施工完成后，采用抓斗进行集中清理运出现场。3#墩引孔可在筑岛平台上进行，钻渣可以暂时堆放筑岛平台上，待筑岛平台撤掉时，一并清理运出。

7. 基坑临边防护及上下通道设置

基坑开挖完成后，采用黄色铁栅栏在支栈桥上进行防护，并要求设置安全警示标志。在主栈桥对面侧的支栈桥旁设置1m宽上下通道，通道采用成品爬梯，爬梯设置防滑带，爬梯两侧设扶手，扶手高1.2m，爬梯与围护结构固定牢靠，不得滑动，确保人员上下安全。

8. 围堰止水及基底清理

锁口位置是围堰渗漏发生的主要位置，需重点检查锁口位置。钢管桩施工前需对钢管桩锁口开展渗漏试验；施打前在钢管桩锁口内抹黄油混合物油膏；施打时需在保持垂直度基础上，避免强行施打，否则易损坏锁口。

钢管桩锁口处发生较少漏水时，应在开挖时对漏水位置进行查找并堵塞。若发生严重漏水时，应在钢围堰内使用棉絮、板条等在板内侧嵌塞。若钢管桩桩脚发生漏水，采用局部混凝土封底。

由于2#承台围堰所处地质为砂岩，可以提高较为干燥的施工作业环境，所以2#承台封底混凝土为普通混凝土浇筑。3#承台围堰封底混凝土为水下混凝土，采用内径 $\phi 273\text{mm}$ 、壁厚 $\delta = 8\text{mm}$ 封底混凝土导管，其管节长度为3种类型（3米、2米及1米），采用快速螺纹接头，以实现关节之间链接。导管长22~23m，底部距离锁扣钢管桩围堰底面10~15cm，采用临时导管定型卡固定在第一道围堰支撑架上将导管临时固定。为避免导管发生倾斜，在导管上部系白棕绳，通过控制手拉葫芦调节高度。导管顶口与体积为800升小集料斗连接，灌注水下混凝土采用拔球法。

五、结论

G5京昆高速公路嘉陵江特大桥，洪水季节水流湍急，蓄水期水位高，2号墩处于陡坡位置，引孔难度大，而且侧面受压，稳定性控制难，钢管桩围堰止水要求高，控制难度大。在施工过程中，通过多种辅助措施，采用不同设备和工艺，对锁扣钢管桩施工进行有效控制。本文对重难点进行了分析，并对施工措施进行了深入总结，先后实现了2、3号墩墩身在蓄水期高出水面，确保了总体施工计划的实现，为今后深水中承台施工提供了有效的施工经验。

参考文献

- [1] 李刚, 李玉凡. 九龙江特大桥2号水中墩锁扣钢管桩围堰施工[J]. 西北水电, 2018(06): 62-65.
 - [2] 罗小恒. 西江特大桥主墩承台锁扣钢管桩围堰的设计计算[J]. 广东建材, 2018(11): 53-55.
 - [3] JTG/T3650-2020. 公路桥涵施工技术规范. 人民交通出版社, 2020.06
 - [4] GB50017-2020. 钢结构设计规范. 中国计划出版社, 2020.06
- 作者简介: 陈慧, 男, 1970年10月, 湖南浏阳市人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 公路工程。